

학교 건물 에너지효율 개선 방안

2015. 9. 22

박기현



에너지경제연구원
KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

목 차



- / 에너지 소비 현황 및 건물에너지 정책
- // 국내외 사례 분석
- /// 학교건물의 에너지소비 실태
- /// 학교 건물에너지 성능 분석
- V 효율개선 정책 방향



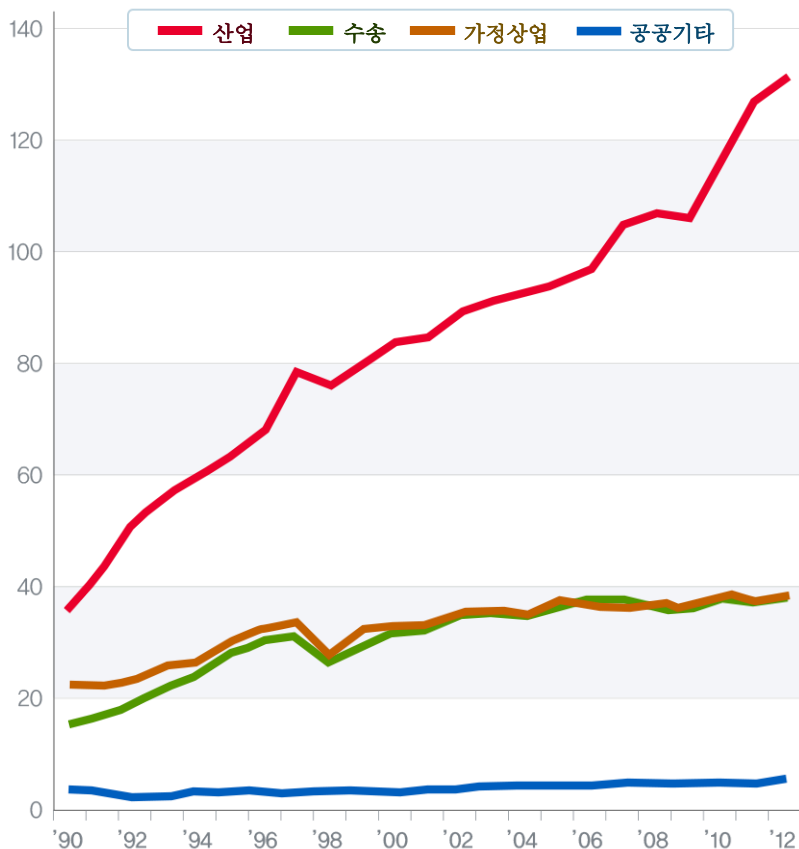
에너지 소비 현황 및 건물에너지 정책

에너지 소비 현황

최종에너지 소비

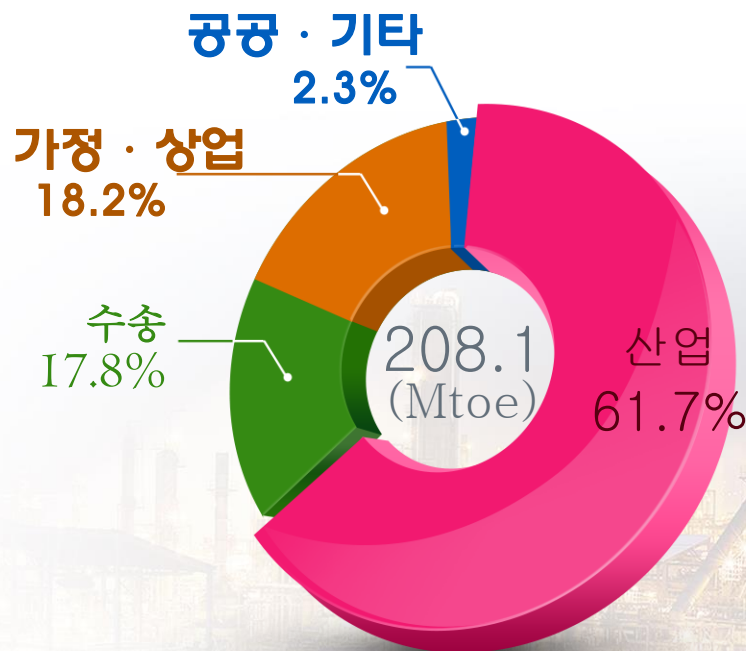
부문별 최종에너지 소비추이

단위: 백만 toe



부문별 최종에너지 소비 비중

'12년



최종 에너지 부문별 소비 전망

	2011년	2020년	2030년	2035년	연평균 증가율 (%)		
					11~20	20~35	11~35
산업	126.9	146.9	152.3	148.5	1.6	0.1	0.7
가정	21.6	23.4	24.6	24.9	0.9	0.4	0.6
상업	15.9	20.7	26.0	28.1	3.0	2.1	2.4
공공/기타	4.6	4.9	5.8	6.2	0.8	1.6	1.3
수송	36.9	41.8	45.5	46.5	1.4	0.7	1.0
최종에너지	205.9	237.6	254.3	254.1	1.6	0.4	0.9



| 건물 에너지 정책 현황



- **건물의 에너지 소비량은 최종에너지 소비의 약 21%(43백만toe)**
 - 건물에너지 수요전망: 2030년까지 매년 2.1% 증가 예상[에너지경제연구원]
 - 신규 건축물은 설계기준강화, 기존 건축물은 성능/효율 개선사업 필요
 - 전체 건물의 97%를 차지하는 기존건물의 효율개선이 관건

- **기존건물의 뚜렷한 효율개선 정책은 부재**
 - 에너지사용량 중 가정에서의 소비가 53%, 상업 37%, 공공·기타가 10%
 - 하지만 기존건물 효율개선을 위한 뚜렷한 정책은 부재한 실정
 - 신축건물: 건물 설계기준 강화, 건물에너지 효율 등급제 확대 등 실시, 하지만 기존건물 중 특히 중소형 건물에 대한 건물효율개선 정책은 거의 전무한 실정





● 최근 학교 건물 에너지 현황

- 학교에너지 사용비중: 건물에너지 소비의 13.6%(전체 에너지의 2.85%)
- 30~40년 된 노후 학교가 과반수
- 냉난방 시스템 도입, 학교 시설개선의 전력화 뚜렷
- 지난 몇 년간 교육용 전력요금의 상승 경험(학교당 평균전기요금이 2009년 32백만원에서 51백만원으로 상승)
- 학교건물은 건축구조가 단순하고 규모 및 사용 스케줄이 비슷하여 다른 상업용 건물보다는 에너지 절약기술을 적용하기에 용이

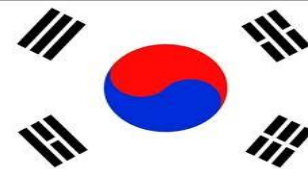
● 발표 내용 및 개요

- 1만 1천 개의 학교 에너지사용량 통계 분석(2013)
- 학교 건물의 에너지 성능분석 시뮬레이션 실시(EnergyPlus)
- 초중등 학교의 에너지효율 개선 방안을 제시





// 국내외 사례 분석



● 국내 사례

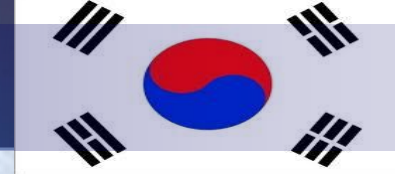
- **그린 스쿨**: 노후학교 → 자연친화적 학교(2009년 부터 실시)
- 2009~2010년 각각 52개 학교 194,373백만 원과 56개 학교 137,154백만 원 지원
- 2012년에는 17개 학교에서 실시. 학교당 약 50억원 내외로 총 796억 지원

[2009~2010년 그린스쿨 분야별 평균 비용과 투자 비율]

분야	학교당 평균비용(원)	투자 금액 비율(%)
에너지	1,326,173,344	27.32
자재 및 기타 친환경	1,079,565,019	22.24
생태환경	660,059,326	13.60
실내환경	144,384,376	2.97
기타*	1,643,406,305	33.86

* 기타: 엘리베이터 설치, 연결통로 공사, 내진보강, 폐기물 처리, 친환경 인증 수수료 등이 포함됨
출처: 교육부(2012), 내부 자료를 재구성





2012년 그린스쿨 항목별 투자금액 및 비율

에너지

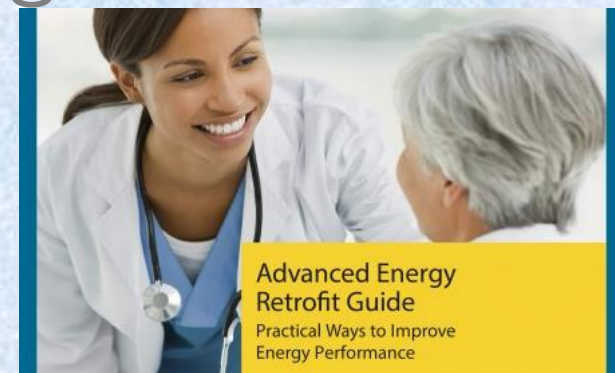


분야	항목	해당 학교수	총금액 (천원)	비율
에너지	태양광발전설비	16	6,304,444	23.90
	LED조명	13	4,682,751	17.75
	지열이용시설	2	690,850	2.62
	기밀성창호	10	3,533,648	13.39
	외벽단열보강	11	5,240,572	19.86
	전열교환기	5	1,890,895	7.17
	고효율기자재사용	2	196,359	0.74
	최대수요전력 제어설비 설치	5	526,000	1.99
	고효율 옥외등	3	202,000	0.77
	폐열회수형 환기	8	1,725,880	6.54
	에너지 절약형 시설 개선	4	1,388,850	5.26
	소계	17	26,382,249	33.16
생태환경		14	6,545,970	8.23
실내환경		14	6,520,354	8.20
자재 및 기타 친환경		17	18,777,030	23.60
기타		17	21,333,799	26.81
합계		17	79,559,402	100.00



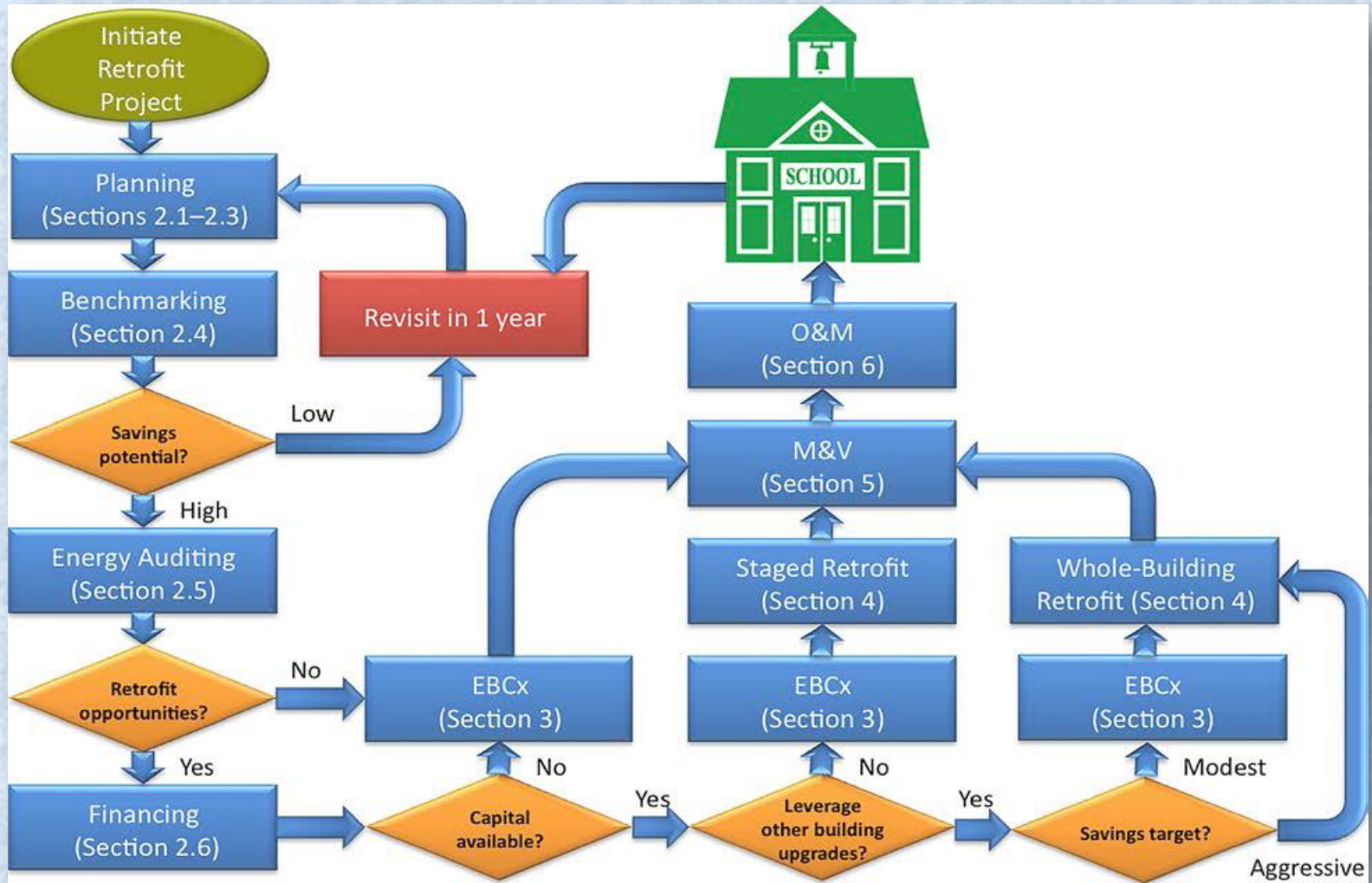
<해외 사례: 미국>

- K-12 건물의 평균수명은 42년으로 상업건물 에너지소비의 약 8%차지
- DOE는 직접 재원 지원 외에 시설 운영, 정보지원 등에 관한 정책 시행
 - 학교운영자의 의사결정을 돕는 자료 제공 및 가이드라인 제시
 - Retrofit 진행 절차와 의사결정 방법과 투자 방법 지침서 제공
- 에너지스마트 스쿨(2003년 종료)
 - 에너지스쿨을 위한 재정가이드, 에너지스쿨의 운영 및 유지 가이드, 투자 방법 및 회수기간과 계산 방법 등 안내 및 지침서 제공
- 초중등학교 에너지 Retrofit 가이드
(Advanced Energy Retrofit Guide; AERGs)
 - DOE는 상점, 오피스, 초중등학교, 병원, 식료품의 5개 건물의 Retrofit가이드 제공.
 - Retrofit 계획수립, 벤치마킹, 에너지진단, 재정지원, 에너지절감 검증(M&V) 등에 대한 의사결정과정을 도식화하여 제공





Retrofit 의사결정 과정 구조



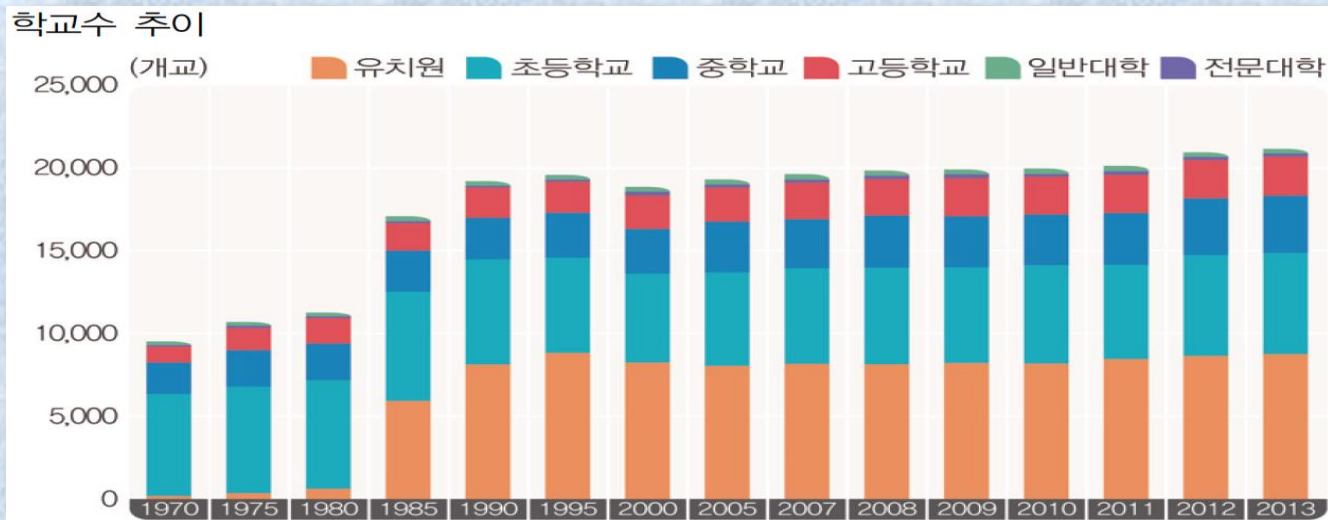


/// 학교건물의 에너지소비 실태

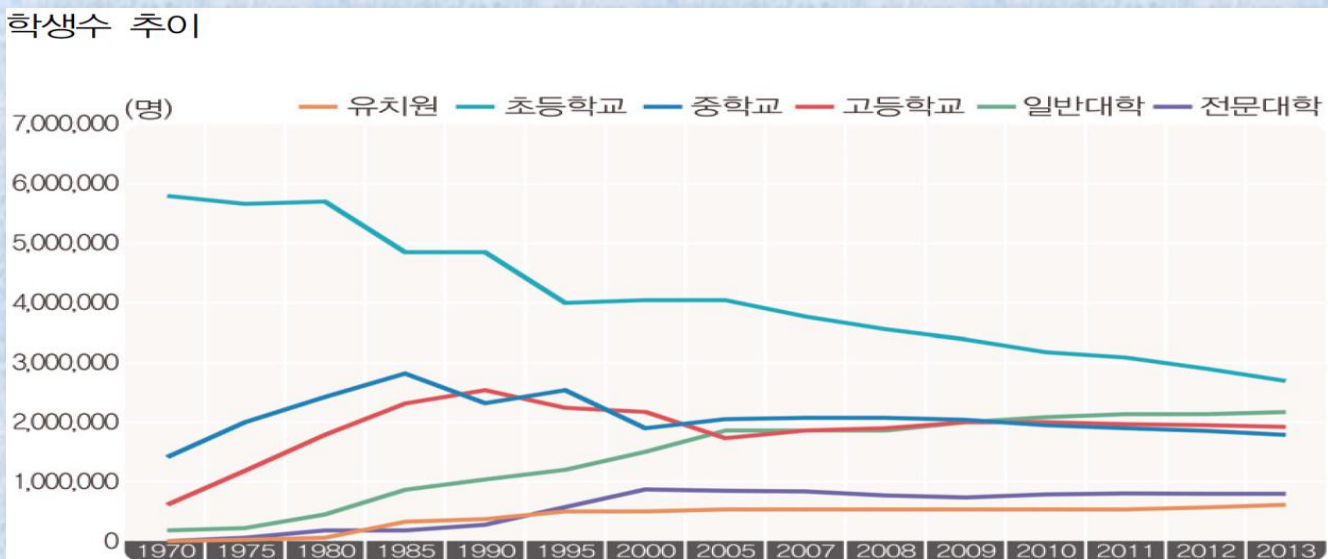
학교 에너지 일반 현황



학교 수 추이 (1970 ~ 2013년)



학생 수 추이 (1970~2013년)

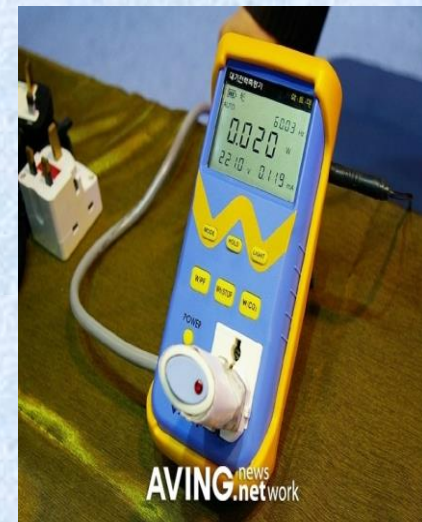


학교 에너지 일반 현황



2012 ~ 2013년 전국 초·중·고 에너지사용량 통계

구분		2012	2013
자료 수(건)		7,589	7,638
총에너지사용량(TOE)		778,628.5	847,002.0
총에너지사용량(kWh)		3,385,502,423	3,682,781,634
총 연면적(m ²)		69,651,851	70,078,602
총 학생 수(명)		5,902,586	5,605,036
평균 총에너지 사용량(TOE)	평균	102.6	110.9
	최대	303.2	303.2
	최소	33.3	33.3
평균 총에너지 사용량(kWh)	평균	446,106.5	482,165.7
	최대	1,318,140.4	1,318,344.1
	최소	144,980.7	144,993
면적당 에너지소비량 (kWh/m ²)	평균	49.9	53.8
	최대	271.5	293.7
	최소	12.9	13.1
학생수당 에너지소비량 (kWh/명)	평균	788.3	899.9
	최대	28,735.7	46,935.0
	최소	124.5	149.6



학교 에너지 일반 현황



전국 초·중·고 설립유형별 평균 면적당 에너지소비량

	연간 평균 면적당 에너지소비량(kWh/m ²)	
설립유형	2012	2013
공립학교	47.9	52.1
국립학교	52.8	56.9
사립학교	59.9	62.8

출처: 교육부(2013), 교육기본통계 재구성



전국 초·중·고 학교유형별 평균 면적당 에너지소비량

	평균 면적당 에너지소비량(kWh/ m ²)		평균 학생수당 에너지소비량(kWh/명)	
유형	2012	2013	2012	2013
고등학교	58.8	62.6	1,059.4	1,160.8
중학교	45.9	49.4	612.1	687.3
초등학교	47.5	51.8	745.0	889.4

출처: 교육부(2013), 교육기본통계 재구성

중학교 에너지 현황

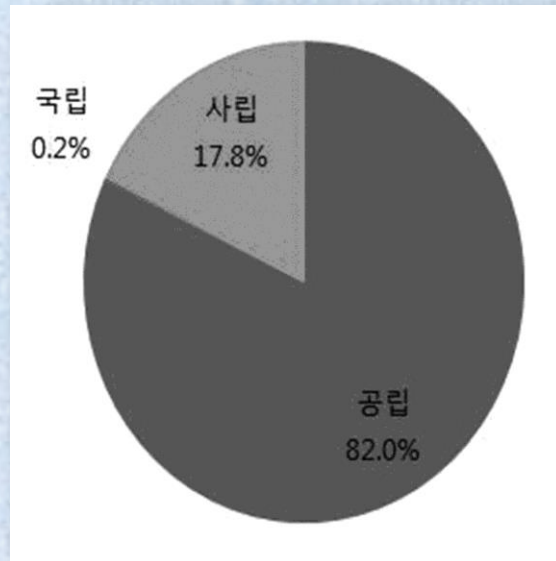


2012 ~ 2013년 중학교 전체 현황

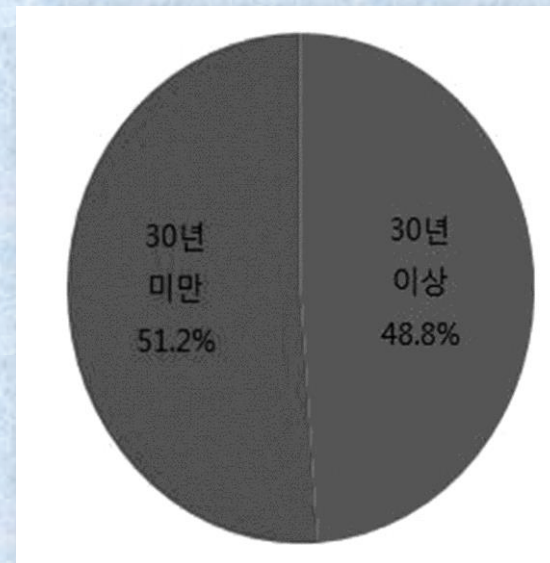
	학교 수(건)	학생 수(명)	공립		국립		사립		노후	
			건	%	건	%	건	%	건	%
2012	2,133	1,670,262	1,744	81.8	7	0.3	382	17.9	1,053	49.4
2013	2,113	1,603,158	1,732	82.0	4	0.2	377	17.8	1,032	48.8

출처: 교육부(2013), 교육기본통계 재구성

2013년도 중학교 설립 유형



2013년도 30년 이상 노후 학교 비율



출처: 교육부(2013), 교육기본통계 재구성

| 중학교 에너지 현황



2012 ~ 2013년 중학교 에너지 사용 현황

구분		2012	2013
자료 수 (건)		2,133	2,113
총 에너지사용량(TOE)		179,029.8	195,085.0
총 에너지사용량(kWh)		778,427,098.3	848,233,116.8
총 연면적 (m ²)		17,869,700.0	17,884,679.0
총 학생 수 (명)		1,670,262	1,603,158
면적당 에너지소비량 (kWh/m ²)	평균	45.9	49.4
	최대	183.9	180.2
	최소	12.9	13.1
학생수당 에너지소비량 (kWh/명)	평균	612.1	687.3
	최대	13,089.6	19,096.3
	최소	124.5	149.6



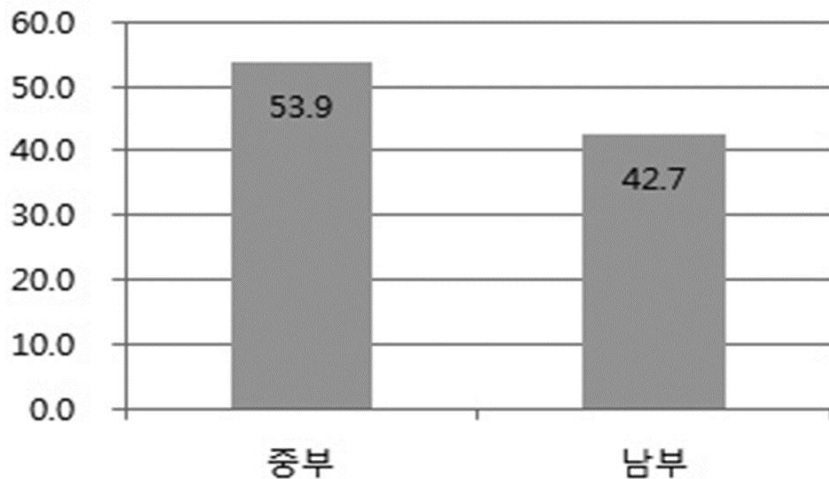
중학교 에너지 현황



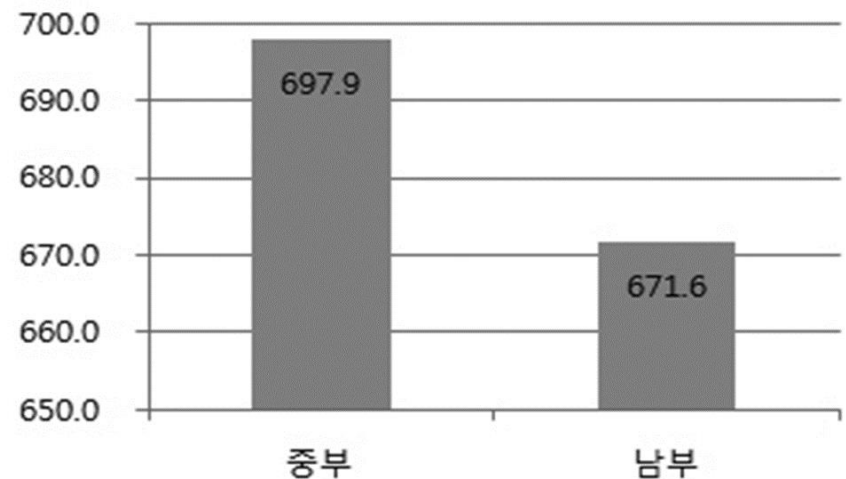
2013년 중부/남부 중학교 에너지소비현황

구분	학교수 (개)	학생수(명)	1개 학교당 학생수(명)	평균 면적당 에너지소비량 (kWh/m ²)	평균 학생수당 에너지소비량 (kWh/명)
중부	1,257	1,012,806	806	53.9	697.9
남부	856	590,352	689.7	42.7	671.6

면적당 에너지소비량(kWh/m²)



학생수당 에너지소비량(kWh/명)



중학교 에너지 현황

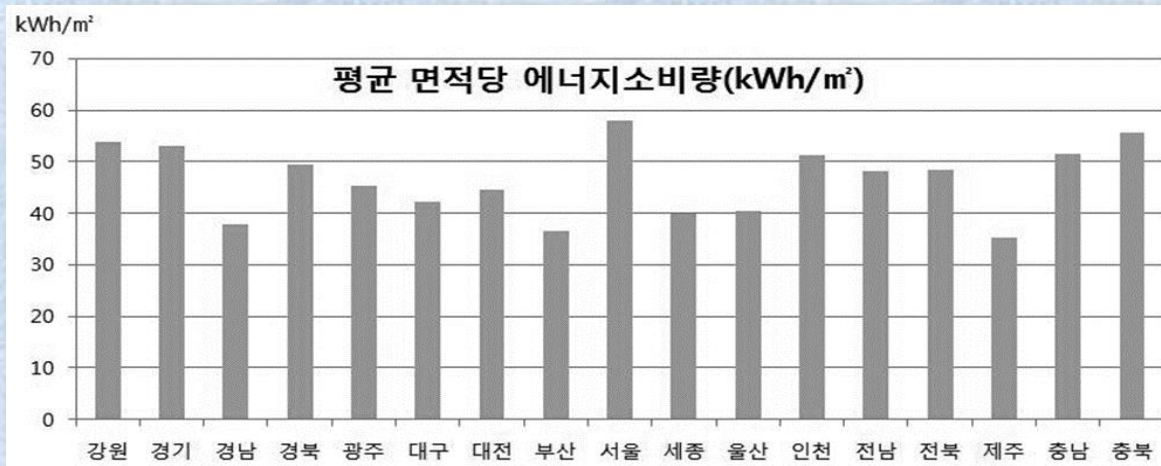


2013년 중학교 시도별 에너지소비현황

	학교 수(개)	연면적(m ²)	학생 수(명)	평균 면적당 에너지소비량 (kWh/m ²)	평균 학생수당 에너지소비량 (kWh/명)
강원	51	403,944	38,479	53.9	787.0
경기	528	4,577,615	442,160	53.2	680.5
경남	147	1,174,124	105,558	38.0	472.1
경북	102	746,628	66,679	49.5	636.5
광주	76	657,055	60,109	45.3	510.2
대구	111	978,327	87,890	42.3	524.7
대전	70	632,989	52,601	44.5	622.9
부산	146	1,222,122	99,007	36.7	456.7
서울	343	3,099,796	280,585	58.1	657.1
세종	3	33,805	2,896	40.0	445.1
울산	55	528,430	43,260	40.4	544.0
인천	117	1,077,535	98,020	51.4	611.5
전남	86	627,756	48,162	48.1	1,176.7
전북	103	726,099	59,569	48.5	1,179.4
제주	30	220,259	20,118	35.2	810.6
충남	75	611,660	53,508	51.6	861.7
충북	70	566,535	44,557	55.7	1,019.4

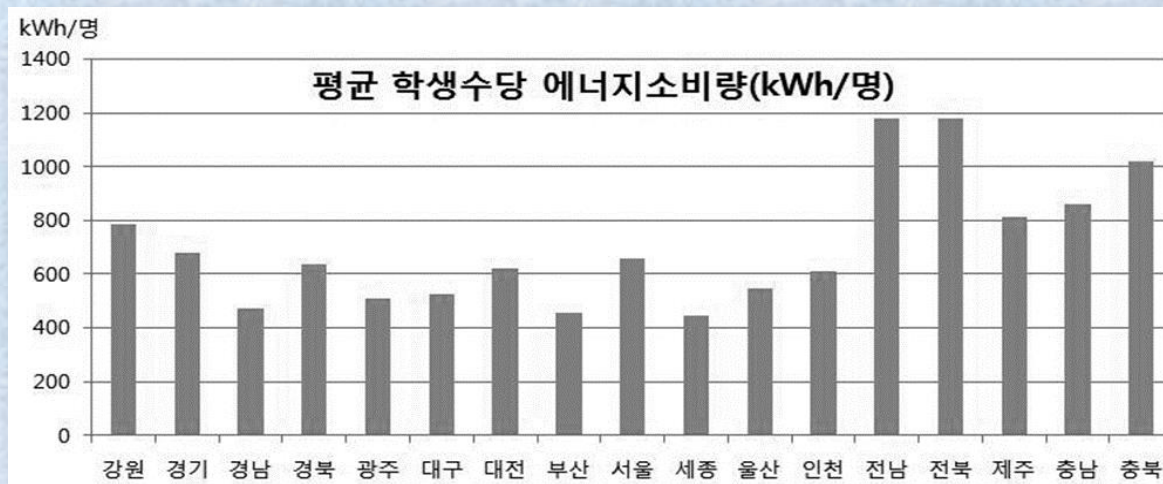


2013년 시도별 중학교 면적당 에너지소비현황



출처: 교육부(2013), 교육기본통계 재구성

2013년 시도별 중학교 학생수당 에너지소비현황



출처: 교육부(2013), 교육기본통계 재구성



학교 건물에너지 성능 분석



● 건축 개요

- 분석대상학교는 1972년에 준공되었으며, 현재 건물은 8개동으로 교실동 2개소와 강당, 합숙소, 식당, 체육관, 사택, 창고로 구성



| 에너지 절감 효과 분석



● 건축 개요

준공연도	1972년
구조	철근 콘크리트조
규모	본관동/지상 4층, 신관동/지상 4층
대지면적	21,734.5 m ²
연면적	9,430.8 m ²
입면구성	시멘트벽돌쌓기, T=60 단열재, 시멘트 몰탈 및 수성페인트마감
창호	T=80 AL창호 T=12mm 맑은 유리 + T=90 PVC창호 T=12mm 맑은 유리
지붕	평슬라브지붕, 아치지붕
냉방	공기식 HP 냉방 시스템, 패키지에어컨
난방	공기식 HP 난방 시스템, 난방전용 가스 온풍기, 가스보일러
학급수	28학급



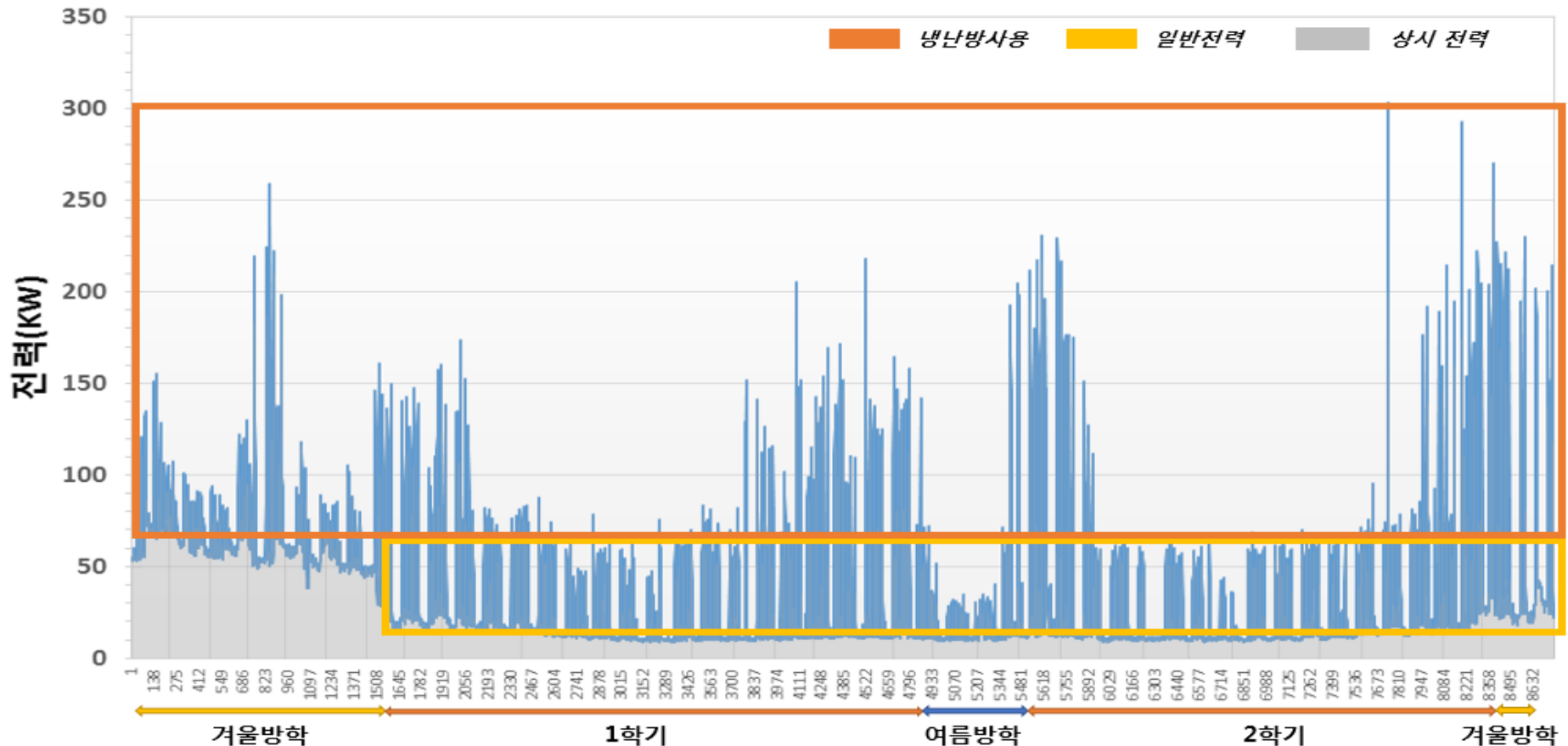
에너지 절감 효과 분석



전기에너지 사용량

- 한국전력공사의 자료를 근거로 심야전력을 제외한 연간 시간대별 자료

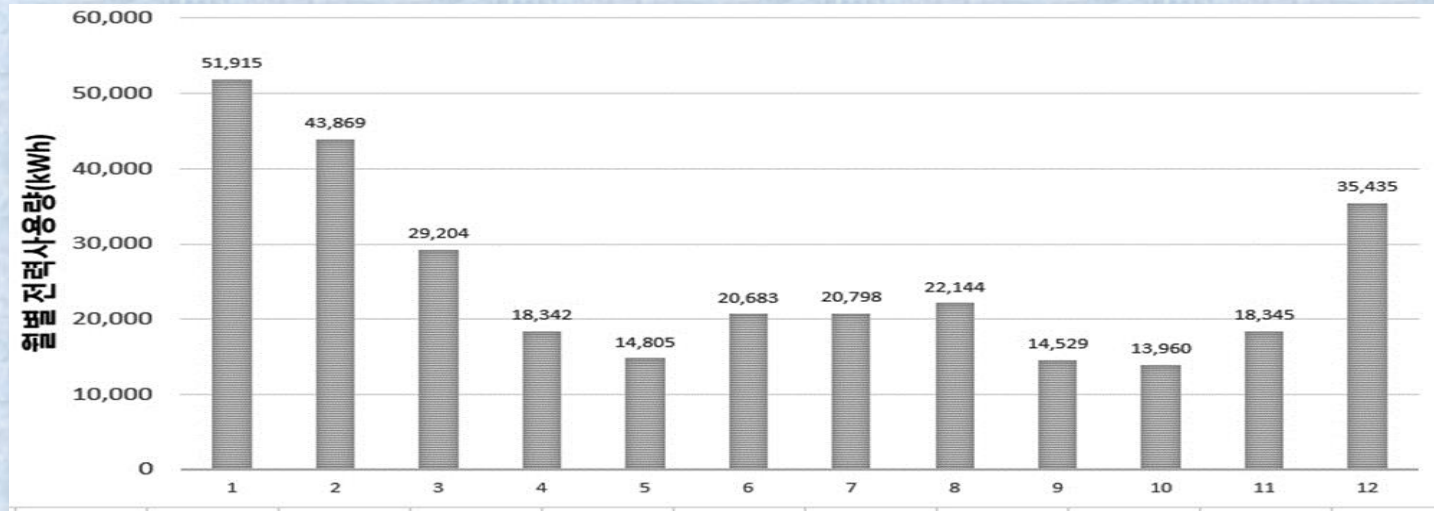
시간별 전력 사용량(2013년)



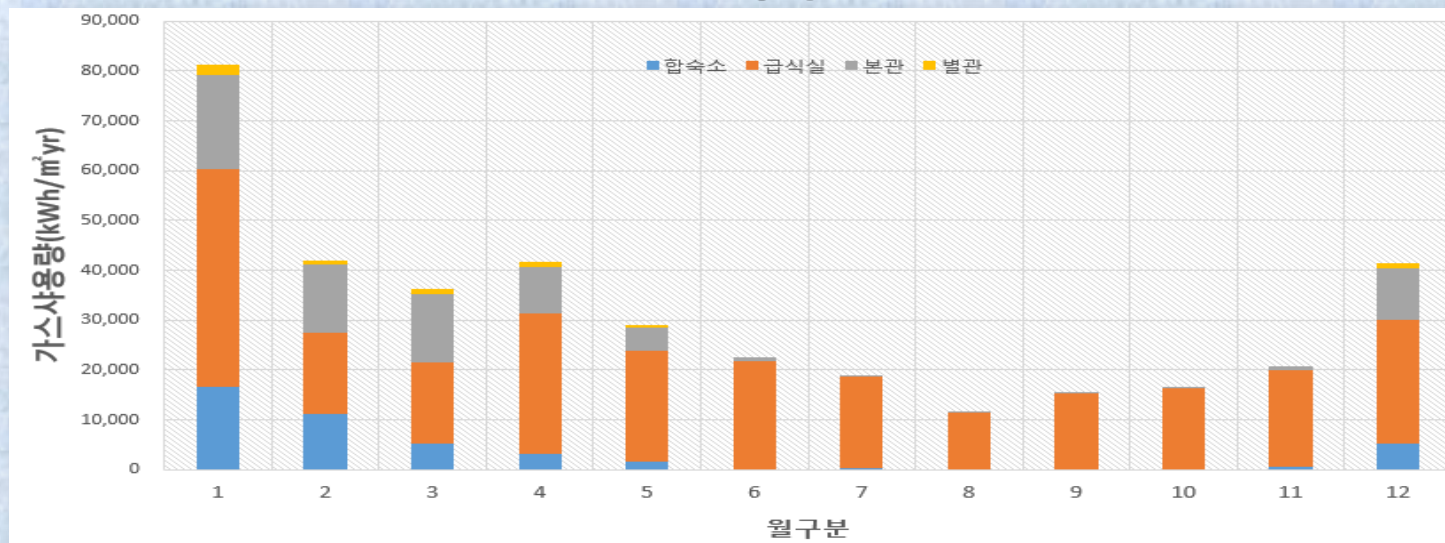
에너지 절감 효과 분석



월별 전기 사용량(2013년)



월별 가스 사용량(2013년)

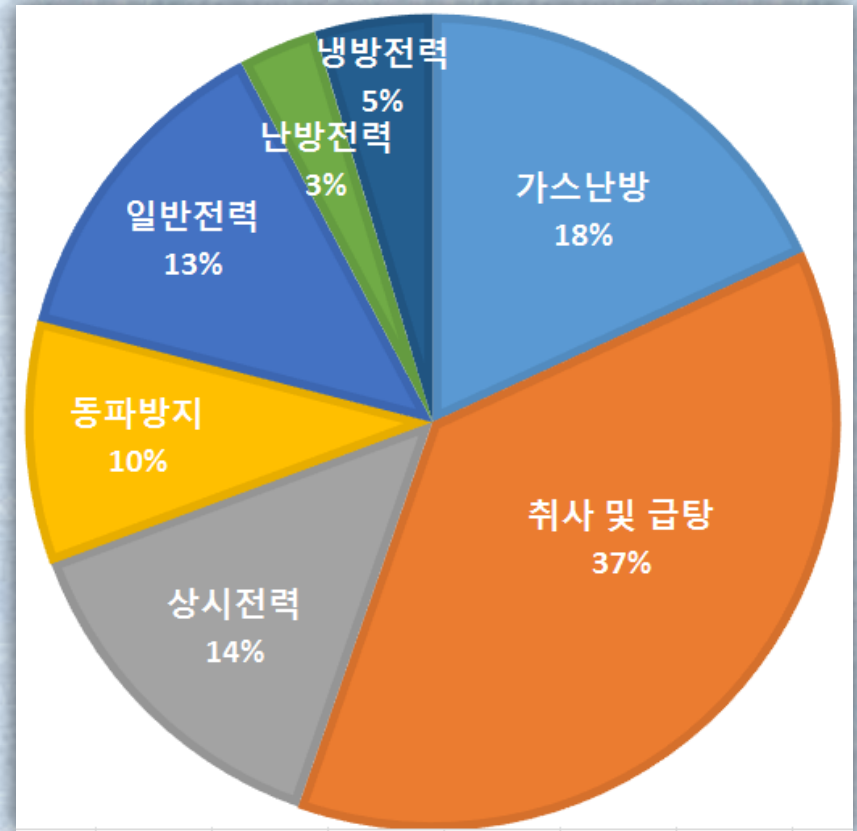


| 에너지 절감 효과 분석



● 분석대상학교 에너지 소비량 성분별 분석

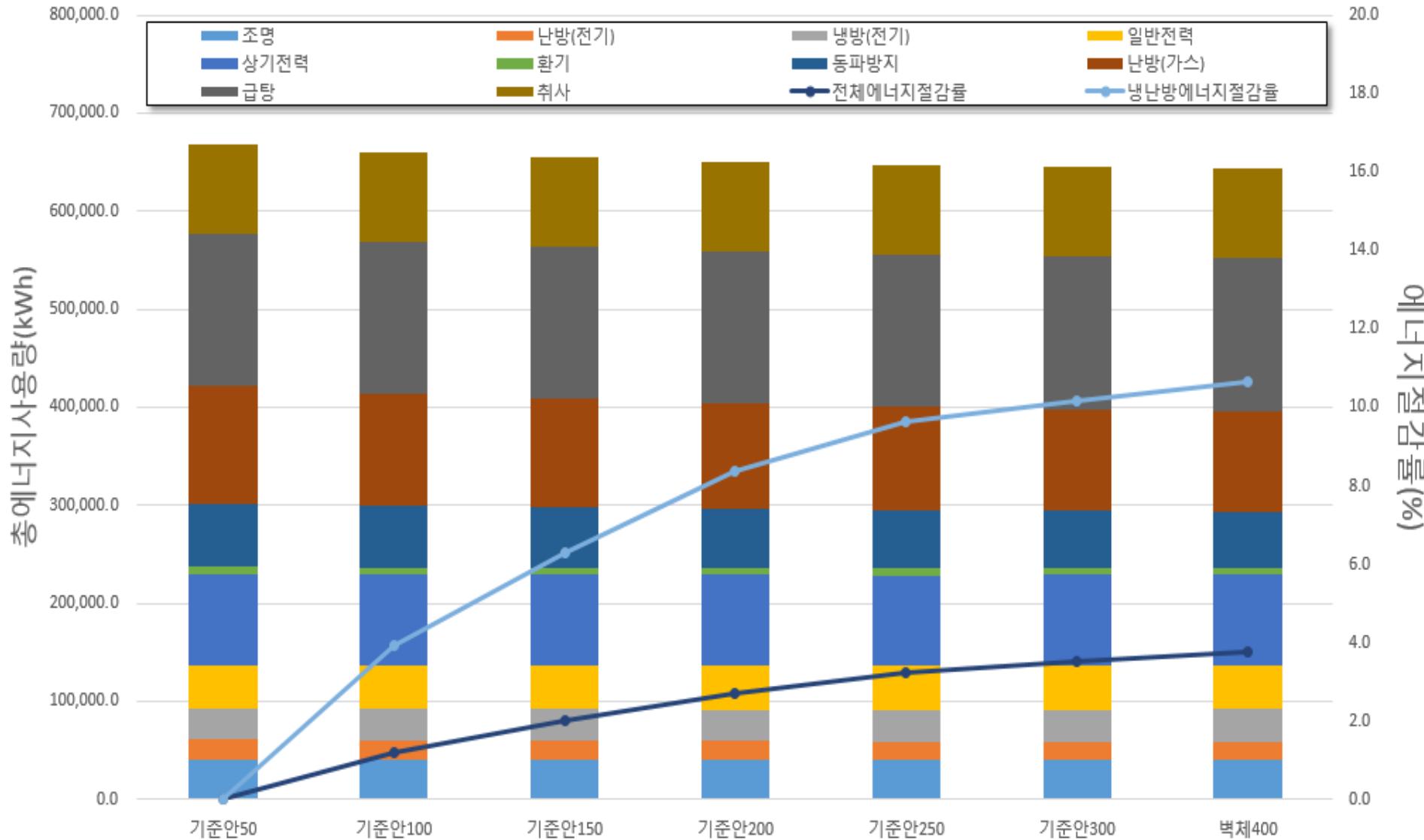
구분	사용량(kWh)
가스난방	123,639.2
취사 및 급탕	253,497.0
상시전력	95,308.8
동파방지	65,800
일반전력	89,792
난방전력	21,281
냉방전력	31,846.6
Total	681,164.6



에너지 절감 효과 분석 결과



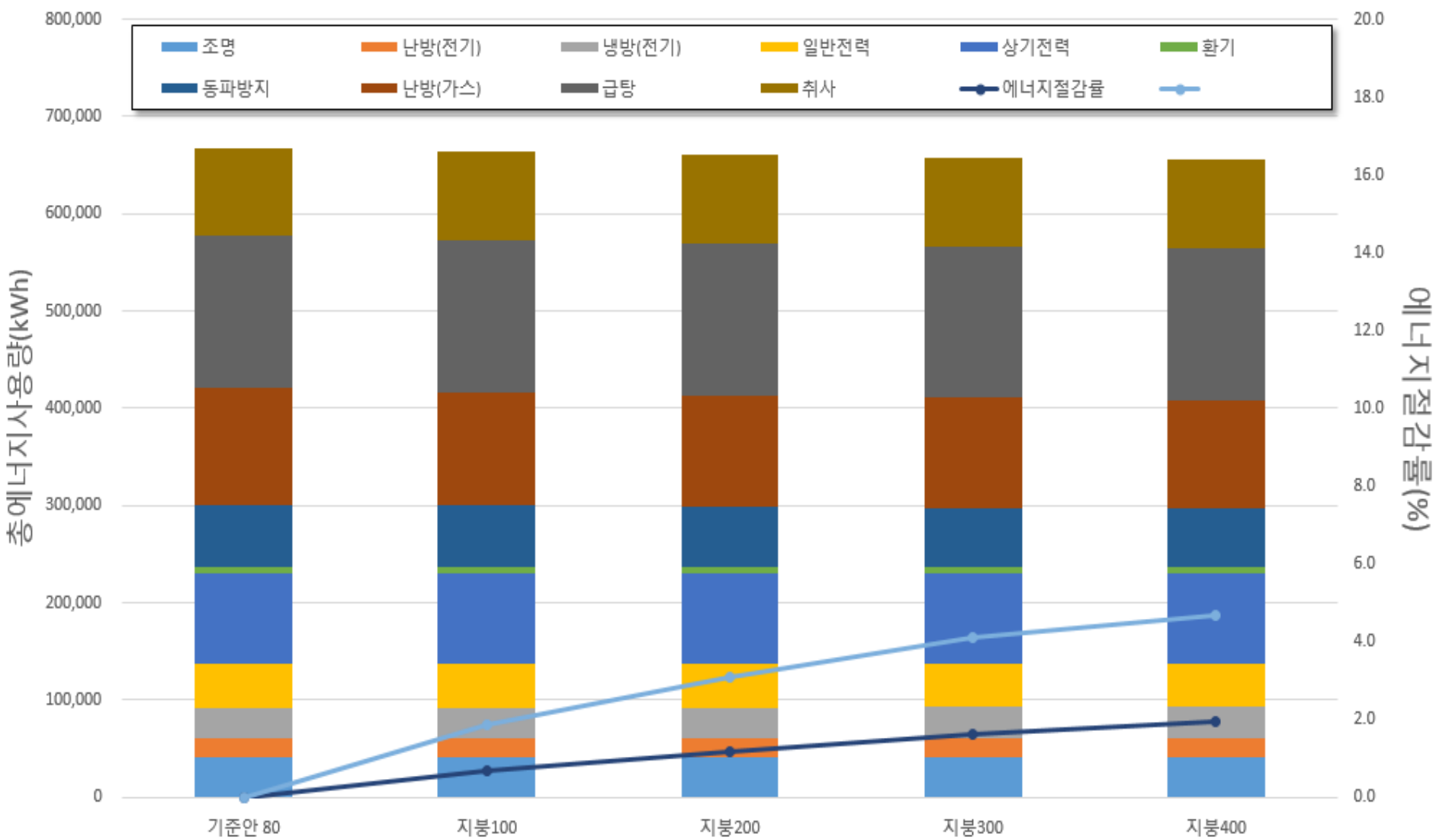
벽체단열 두께별 에너지 절감률



에너지 절감 효과 분석 결과



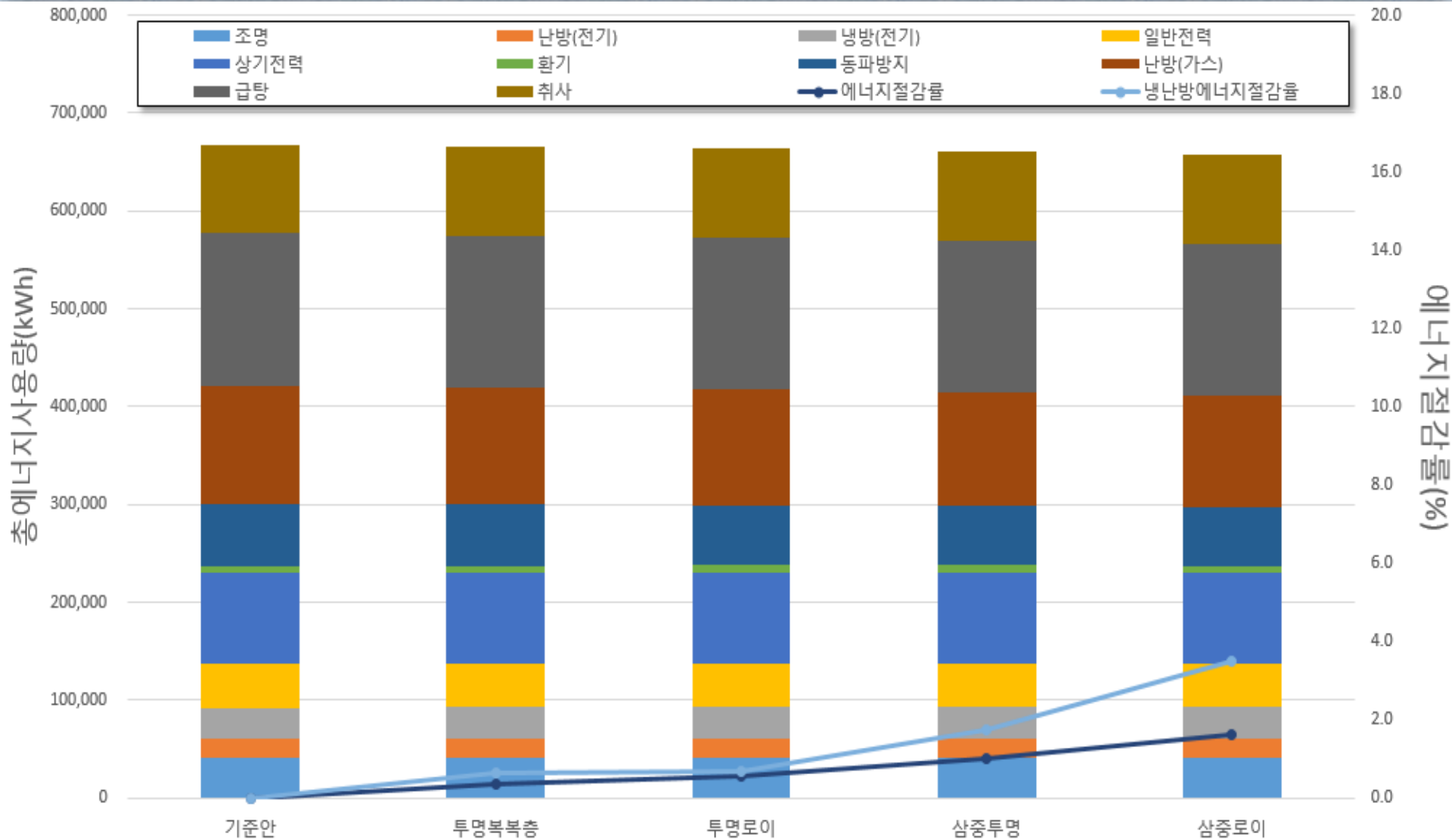
지붕단열 두께별 에너지 절감률



에너지 절감 효과 분석 결과



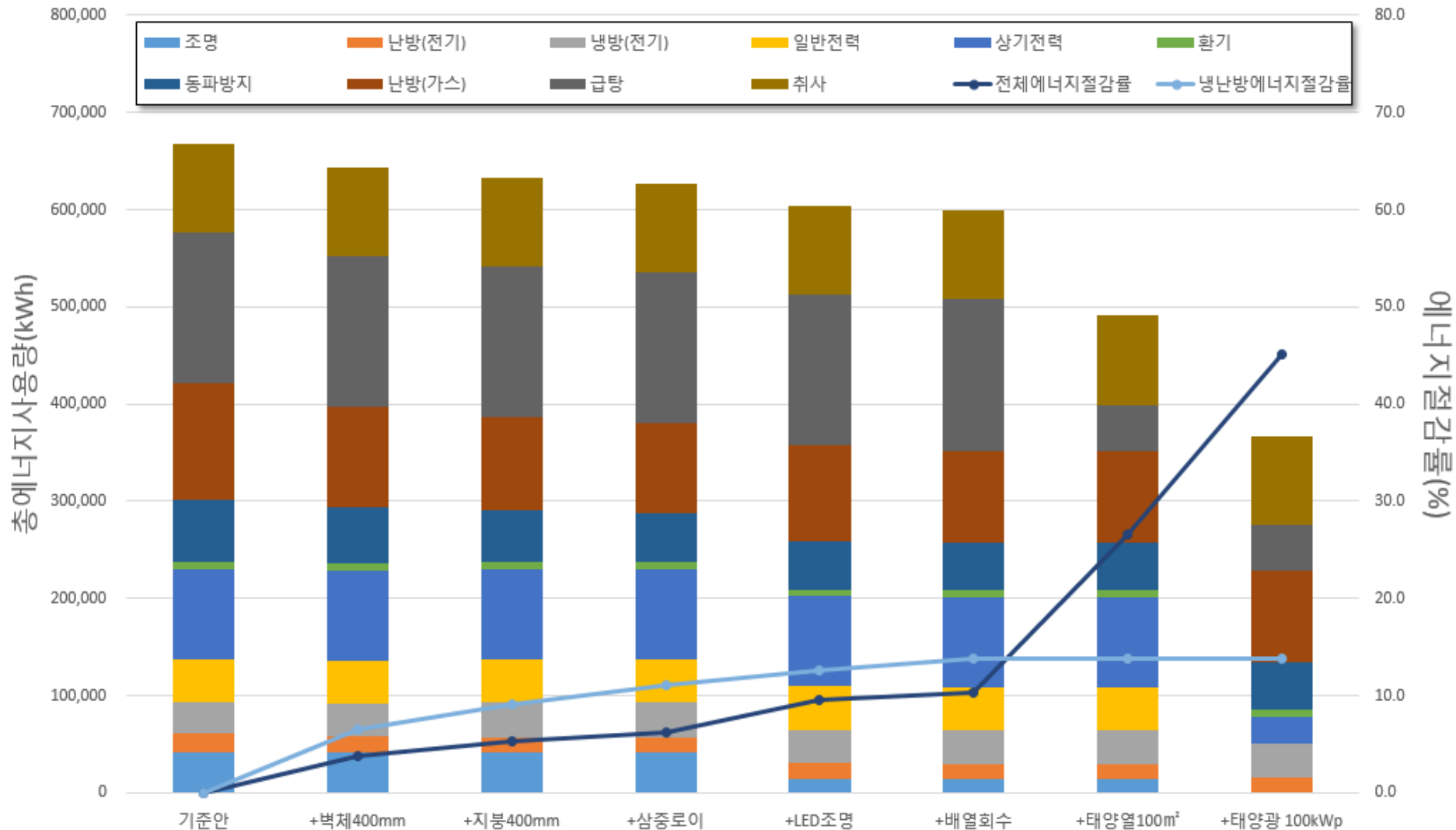
창호별 에너지 절감률(기준: 3mm 이중창)



에너지 절감 효과 분석 결과



적용 기술에 따른 에너지 절감률



에너지 절감 효과 분석 결과



적용 기술에 따른 에너지 절감률(단위:kWh/yr)

구분	기준안	+벽체 400mm	+지붕 400mm	+삼중로이	+LED조명	+배열회수	+태양열 100㎡	+태양광 100kWp
조명	40,803.6	40,803.6	40,803.6	40,803.6	13,601.2	13,601.2	13,601.2	-
난방 [전기]	20,706.4	17,685.8	16,447.8	15,789.9	16,895.1	16,219.3	16,219.3	16,219.3
냉방 [전기]	30,986.7	33,218.7	35,544.0	35,899.5	34,104.5	34,445.5	34,445.5	34,445.5
일반전력	44,513.0	44,513.0	44,513.0	44,513.0	44,513.0	44,513.0	44,513.0	-
상시전력	92,735.5	92,735.5	92,735.5	92,735.5	92,735.5	92,735.5	92,735.5	26,949.7
환기	7,418.2	7,418.2	7,418.2	7,418.2	7,418.2	7,418.2	7,418.2	7,418.2
동파방지	64,023.4	57,293.4	53,282.8	51,151.5	50,128.5	49,125.9	49,125.9	49,125.9
난방 [가스]	120,300.7	102,751.3	95,558.7	91,736.4	98,157.9	94,231.6	94,231.6	94,231.6
급탕	155,391.1	155,391.1	155,391.1	155,391.1	155,391.1	155,391.1	47,083.5	47,083.5
취사	91,261.4	91,261.4	91,261.4	91,261.4	91,261.4	91,261.4	91,261.4	91,261.4
연간냉난방에너지 총량	115,716.6	108,197.9	105,274.6	102,840.8	101,128.1	99,790.8	99,790.8	99,790.8
연간냉난방에너지절감률 [%]	0.0	6.5	9.0	11.1	12.6	13.8	13.8	13.8
연간에너지소비량	668,140.1	643,072.0	632,956.1	626,700.0	604,206.4	598,942.8	490,635.2	366,735.2
전체에너지절감률[%]	0.0	3.8	5.3	6.2	9.6	10.4	26.6	45.1

에너지 절감 효과 분석 결과



분석대상학교의 적용 기술 요소별 경제성 평가(단위: kWh, 원)

구분	초기 투자비	전기 사용량	가스 사용량	총 사용량	에너지 절감량	연간전력 비용	연간가스 비용	총에너지 비용	절감 비용	투자 회수 기간(년)
외벽단열	159,170,880	293,668	349,404	643,072	25,068	50,709,085	33,638,124	84,347,209	3,977,357	28.0
지붕단열	76,352,304	296,381	358,743	655,124	13,016	50,947,161	34,535,000	85,482,161	2,842,406	18.8
창호단열	189,235,241	296,685	360,508	657,193	10,947	50,973,823	34,704,454	85,678,277	2,646,290	50.1
LED조명	48,884,564	272,604	375,374	647,978	20,162	48,860,429	36,132,055	84,992,484	3,332,082	10.3
환기시스템	152,504,602	292,302	351,214	643,516	24,625	50,589,165	33,811,928	84,401,093	3,923,473	27.2
태양광 발전 시스템	238,683,106	177,287	366,953	544,240	123,900	40,495,063	35,312,758	75,807,821	12,516,746	13.3
태양열 급탕시스템	126,849,035	301,187	247,457	548,644	119,496	53,011,809	23,848,280	76,860,089	11,464,478	7.7



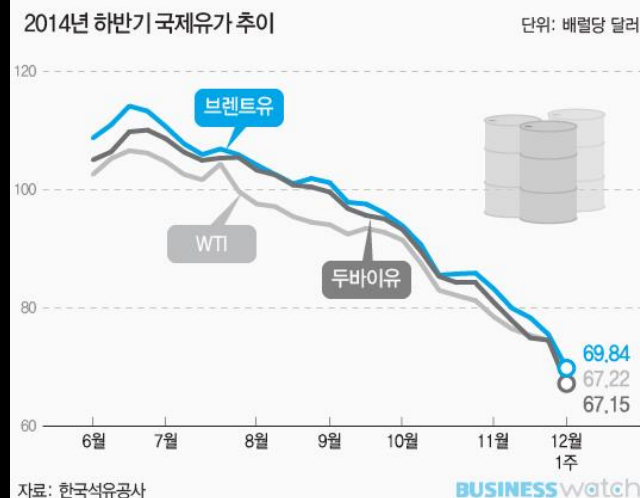
효율개선 정책 방향

건물 효율 개선 장애요인



● 건물효율개선의 장애요인

- 높은 초기투자비
- 에너지절감의 불확실성
- 주인-대리인 문제(임대인-임차인 문제)
- 효율개선의 필요성에 대한 인식의 결여
- 정보의 불완전성: 정부, 시민, 건축업자의 정보가 비대칭, 정보공유 부재
- 낮은 에너지 가격



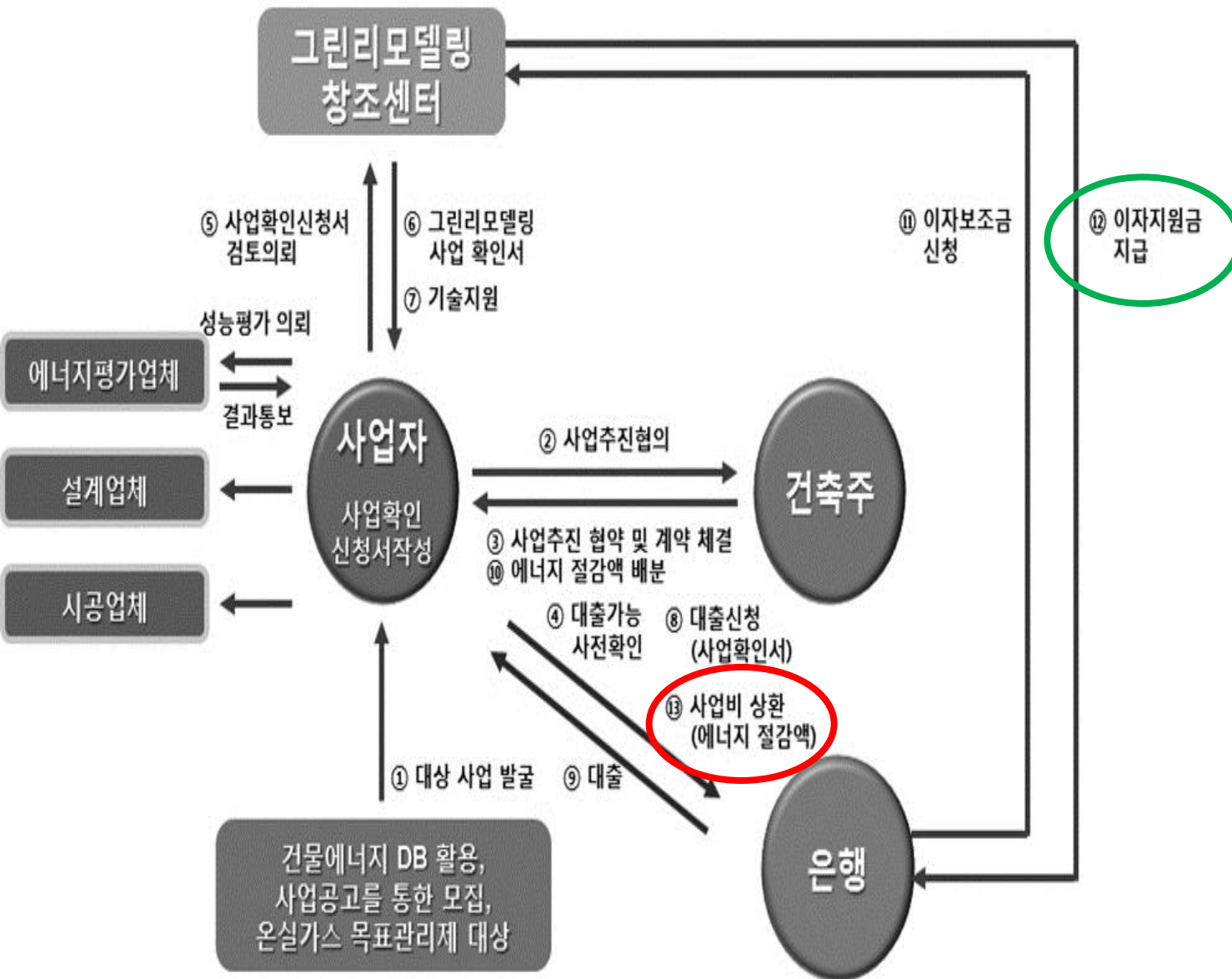
재정 지원 방안(중소형 건물)



- 정부 보조금, 융자, 이차보전 등의 방식이 있음
- 민간 금융을 이용한 비즈니스 모델 필요
 - 그린리모델링 창조센터**: 민간 금융을 이용할 경우 이자 일부 지원
 - 건물 단열, 기밀성 강화, 창호 개선, 외피 단열, 신재생 공사 등 에너지 성능 개선과 관련된 공사 지원
 - 사업비 상환은 5년 이내 분할 상환(거치 기간 20개월)
 - 이자 지원율은 2%(20~25%), 3%(25~30%)~4%(30%이상)
 - 학교 실무자 관심사: 투자회수기간, 외장재, 사업비 절약
 - 투자회수기간이 짧은 사업 선호: LED 조명, 태양광 선호; 벽/지붕단열, 창호교체 등은 10년 이내에 투자자금 회수 불투명한 관계로 투자 회피
 - 초기 투자비를 매년 발생하는 에너지 절감액으로 상환하는 시스템 필요**



비즈니스 모델



2013-2014 사업기획 지원 대상 사업



● 공공시범사업

- 서울세관별관, 문경시청사, 목포대학교, 한국환경산업기술원, 광주주월초 등

● 광주주월초등학교

- 그린리모델링 착공일: 2015년(예정)
- 총 4개동, 1983년 준공, 임시휴교상태
- 단열, 창호교체, 출입문교체, 냉난방, 태양광, 조명 등 에너지성능공사 실시 예정
- 본 사업은 에너지성능 및 효율개선을 위한 기획설계 안을 마련하는데 목적이 있음



· 2013-2014 사업기획 지원 대상사업



2013년

부천 원미도서관, 광주임동 근로자복지관, 문경시청사, 서울세관 별관 부산지방국토관리청, 광주 주월초등학교

2014년

한국환경산업기술원, 인천의료원 장례식장, 춘천교도소, 목포대학교 사회과학관 경주시 연지청사, 도로공사 군위지사, 거창여고

| 재정 지원 추가 방안 및 선결 사항



● 이차보전을 이용한 저리 융자로 초기 투자비 조달

- 상황기간 5년이 지나면 이차보전 종료
- 따라서 정부는 현실적인 **비용회수 기간을 보장**할 필요가 있음(25년)
- 다양한 재원지원 방안이 필요
 - 전력산업기반기금, 에너지이용합리화 자금, 주택기금 등 활용 검토

● 선결 사항

- 건물에너지 진단과 건물에너지 평가(정부 지원)
- 사업 후 **M&V(실적검증)** 실시 및 **벤치마킹** 수립
- 미국사례와 같이 Retrofit 계획수립, 벤치마킹, 에너지진단, 재정지원, 에너지절감 검증(M&V) 등에 대한 가이드 마련
- 수요자들에게 retrofit에 대한 정보공유 체계 마련



감사합니다